

鉄道一般

車両

軌道

構造物

防災

電力

信号通信
情報

材料

環境

人間科学

浮上式鉄道

雨による盛土の不安定化傾向と立地条件との関係を探る

近年、「観測史上最大の雨量」といわれる豪雨が各地で観測されることが多くなっています。これらの豪雨から盛土崩壊を防止するために、鉄道ではさまざまな対策が講じられていますが、その一つに、排水パイプを盛土に打設して地下水を積極的に排水する方法があります。しかし、排水パイプの設計方法は確立されておらず、その施工仕様は経験に基づいて決定されているのが現状です。ここでは、排水パイプの適切な施工パターンを提案するために、盛土の立地条件によって異なる水位上昇傾向やその範囲について検討した内容を紹介します。

はじめに

降雨や地下水が浸透することにより、列車の運行が阻害されることがあります。こうした盛土崩壊から列車の安全・安定輸送を確保するために、雨水が盛土内に浸透するのを防止する対策（張ブロックなどのり面工）や、盛土内部の地下水を積極的に排水する対策（排水パイプや水抜きボーリングなどの排水工）などが実施されています。しかし、盛土内部の地下水を積極的に排水する対策の多くは設計法が確

立されておらず、その施工仕様は経験に基づいて決定されているのがほとんどです。

そこで、私たちのグループでは、盛土内部から地下水を積極的に排水する対策の中で、排水効果が高く且つ施工実績の多い図2に示すような排水パイプを選定して、盛土の立地条件に応じた適切な施工パターンを提案することを目的に研究を進めています。これまでに、盛土の立地条件別の排水パイプの施工パターンを提案するための基礎的な検討として、降雨によって盛土



西田 幹嗣
Mototsugu Nishida
防災技術研究部
地盤防災研究室
研究員
[専門分野] 鉄道構造物の保守



太田 直之
Naoyuki Ohta
防災技術研究部
地盤防災研究室
室長
[専門分野] 斜面防災



渡邊 諭
Satoshi Watanabe
防災技術研究部
地盤防災研究室
副主任研究員
[専門分野] 河川防災



杉山 友康
Tomoyasu Sugiyama
防災技術研究部
部長
[専門分野] 土木防災工学



図1 降雨により盛土が崩壊した事例



図2 盛土に打設される排水パイプ

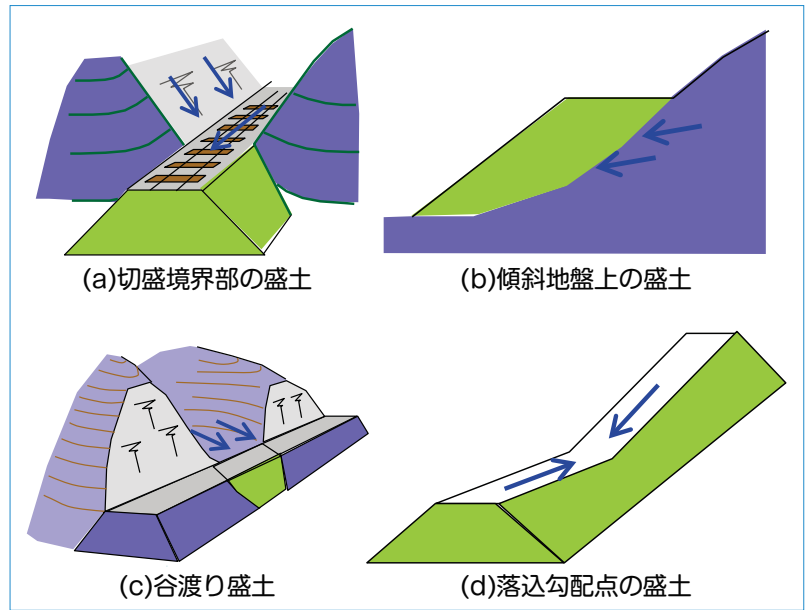


図3 地形的な制約を受けて構築される盛土の立地条件

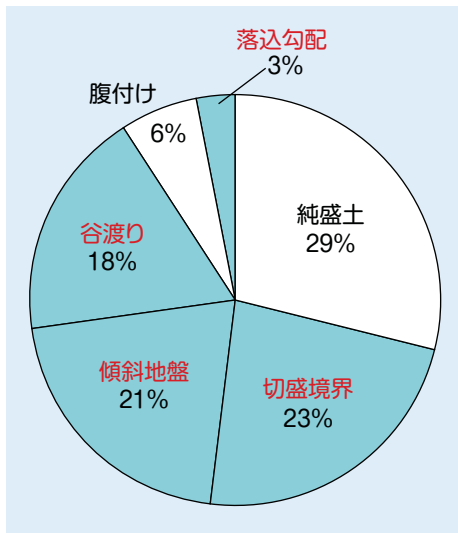


図4 過去の被災盛土の立地条件

のり面が崩壊した過去の被災データから弱点となる盛土の立地条件を抽出し、その抽出した条件にある盛土に対して降雨を与えたときの盛土内の水位上昇傾向を数値解析により明らかにしたので、その内容を紹介します。

盛土の立地条件とは

降雨により盛土が崩壊する素因の一つとして盛土の立地条件があります。例えば、山間部にある沢を横断するために造られた盛土などには、降雨時に

沢水が集中するため、盛土の表面から浸透する雨水に加えて沢水が浸透し、地下水水位が上昇しやすいと考えられます。このような降雨時に不安定化しやすいと考えられる立地条件にある代表的な盛土は、図3に示すように、(a) 盛土と切土の接続部にあたる「切盛境界部の盛土」、(b) 傾斜した基礎地盤上に構築された「傾斜地盤上の盛土」、(c) 沢や谷地形を塞ぐように構築された「谷渡り盛土」、(d) 縦断方向の勾配が変化する部分を有する「落込勾配点の盛土」、などが挙げられます。

被災の多い盛土の立地条件を探る

降雨によって盛土のり面が崩壊した過去の被災データ¹⁾を基にして、盛土の立地条件による被災が占める割合について調査しました。図4は、67箇所¹⁾の盛土被災データを盛土の立地条件に着目して分類したものです。同図が示すように、切盛境界、傾斜地盤、谷

渡り、落込勾配という立地条件の盛土の被災事例は全体の65%を占めており、これらの条件が盛土の被災に影響を及ぼしている可能性があると考えられます。一方、純盛土と腹付け盛土に分類された被災事例が35%にのぼることについては、これらの事例は、盛土の透水系数や盛土の強度、あるいは外力としての雨量など、立地条件以外の要因が大きく影響を及ぼしたことによる被災事例であると推定されます。

以上のような被災事例の調査結果から、切盛境界、傾斜地盤、谷渡り、落込勾配を降雨時の盛土の安定性に影響を及ぼす立地条件として選定して、これらの条件を有する盛土に降雨を作用させたときの盛土内の地下水水位を解析によって求め、盛土が不安定となる条件または範囲について検討しました。

盛土の立地条件に対する不安定化傾向を探る

a) 切盛境界部の盛土

図3 (a) に示すように線路勾配が切土区間から盛土区間に向かって下り勾配になっている場合、切土区間に降

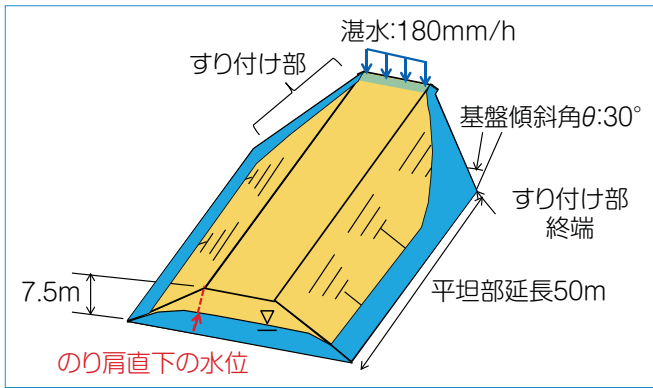


図5 切盛境界の盛土のモデル

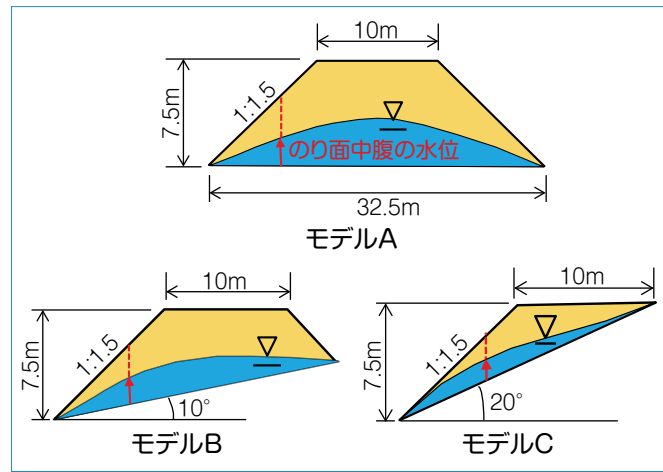


図7 傾斜地盤上の盛土のモデル

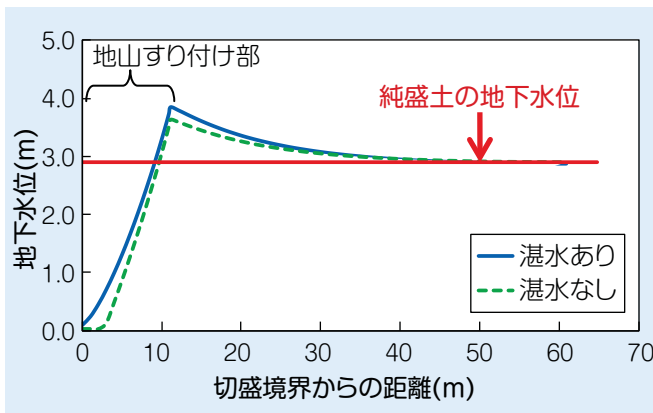


図6 のり肩直下における地下水位の縦断方向分布

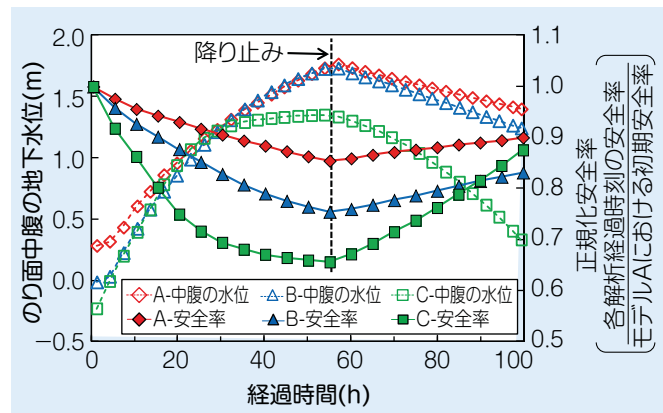


図8 のり面中腹の地下水位および安全率の経時変化

た雨が表面水として集められて、切盛境界から盛土内へ集中的に浸透する可能性が考えられます。そこで切盛境界の盛土については、切盛境界から盛土に流入する浸透水が盛土の安定性に及ぼす影響範囲について検討しました。図5のモデルに示すように、切盛境界部からの水が集中的に盛土に流入する状況を再現するため、切盛境界部の施工基面上の盛土縦断方向1mの部分に、時間雨量180mm（盛土の透水係数から算定される最大浸透可能量）の降雨を作用させる湛水条件としました。

図6は、時間雨量10mmの降雨が55時間降った時の図5に示すのり肩直下における盛土縦断方向の地下水位について、湛水条件がある場合とない場合の分布形状を示したものです。また、同図には高さ7.5mの純盛土に同様の雨が降った場合の数値解析の結果

も併記しています。同図から、湛水の有無によらず地山すり付け部終端付近で最も地下水位が上昇していることが分かります。また、湛水がない場合でも、地山すり付け部終端付近の地下水位は純盛土よりも上昇していることから、このようなすり付け部を有する場合、降雨時に切盛境界部の盛土は純盛土よりも不安定な状態にあると言えます。なお、純盛土よりも不安定となる範囲は切盛境界部から約40mの範囲に及んでいることがわかります。

b) 傾斜地盤上の盛土

傾斜地盤上の盛土については、降雨時に盛土底部の傾斜角度の違いが盛土の安定性に及ぼす影響について検討しました。図7は、本検討に用いたモデルです。モデルの盛土高さは過去の被災事例の平均値である7.5m¹⁾として、盛土底部の傾斜角度を0°、10°、20°

の三種類としました。また、降雨の条件は、時間雨量10mmを55時間与えることにしました。

図8は、図7に示す盛土のり面中腹の水位と安全率の経時変化を示したものです。安全率は、各時間における安全率を初期状態(0時間)における安全率で除した正規化安全率で表しています。同図から、どのケースにおいても、降雨によって地下水位が上昇するにつれて安全率は低下し、降り止み後には水位の低下によって安全率が回復していることがわかります。また、降り止み時における各盛土の安全率は、モデルA, B, Cでそれぞれ約0.85, 0.77, 0.72となり、その低下割合は、傾斜角度10°の場合は純盛土の1.5倍に、傾斜角度20°の場合は純盛土の1.9倍になることがわかりました。以上のことから、今回の降雨条件では盛土底部の傾

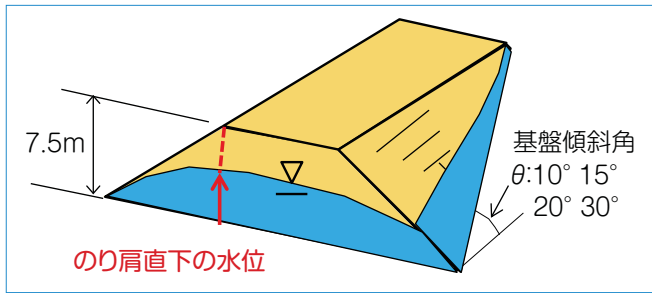


図9 谷渡り盛土のモデル

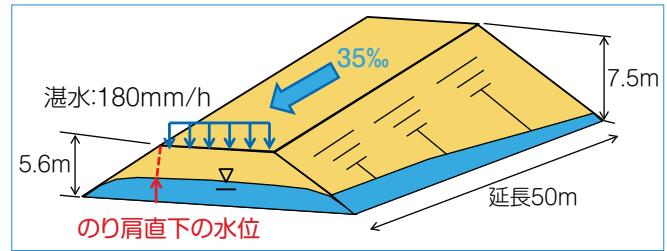


図11 落込勾配点の盛土のモデル

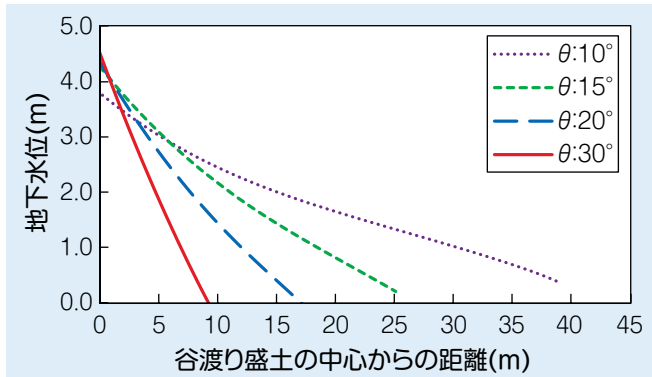


図10 地下水位の縦断方向分布

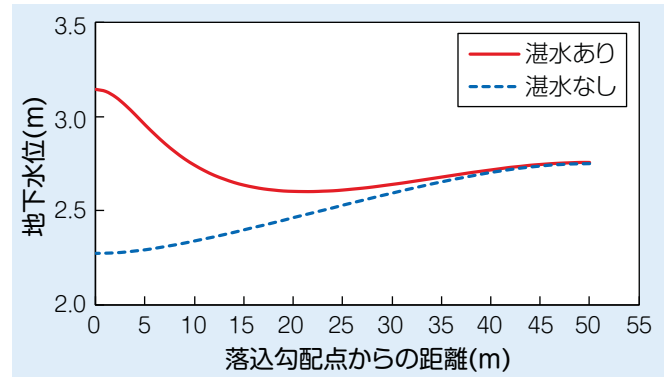


図12 地下水位の縦断方向分布

斜角が大きいほど盛土の安定性が急激に低下する傾向にあることが分かりました。

c) 谷渡り盛土

図3(c)に示すような谷渡り盛土については、盛土縦断方向の傾斜角の違いが盛土の安定性に及ぼす影響について検討しました。図9に示すように谷中央部までの盛土形状をモデル化して、切盛境界の検討と同様の降雨条件で数値解析を実施しました。

図10は、時間雨量10mmの降雨が55時間降った時ののり肩直下における盛土縦断方向断面の地下水位の分布を基盤傾斜角ごとに示したものです。同図より、基盤傾斜角が小さくなるほど地下水位が上昇する範囲が広がることが分かります。谷渡り盛土の場合、沢水の浸透による横断方向の水位上昇も加わり、さらに、地下水位が上昇すると考えられます。

d) 落込勾配点を有する盛土

図3(d)に示すように落込勾配点を有する盛土は、降雨時に路盤部を線路

勾配に沿って流下した水が落込勾配点で湛水して、盛土を不安定化させることがあります。そこで、落込勾配点での湛水が、盛土の不安定性に及ぼす影響について検討しました。図11は、本検討に用いたモデルです。線路勾配は在来線の最急勾配を参考に35%としました。なお、湛水の条件は切盛境界と同様の条件としました。

図12は、時間雨量10mmの降雨が55時間降った時ののり肩直下における盛土縦断方向の地下水位の分布形状を示したものです。落込勾配点に湛水がある場合は、湛水がない場合と比較して、落込勾配点付近の地下水位が約1.5倍上昇していることが分かります。また、落込勾配点での湛水の影響は、落込勾配点から約40mの範囲に及んでいることがわかります。また、この解析に用いたモデルは、橋台背面の盛土と捉えることもでき、橋台背面部も落込勾配点と同様に、浸透水により不安定化しやすいことがわかります。

おわりに

本稿では、盛土の立地条件別の排水パイプの施工パターンを提案するための基礎的な検討として、降雨によって盛土のり面が崩壊した過去の被災データから弱点となる盛土条件を抽出し、その抽出した盛土条件に対して降雨を与えたときの盛土内の水位上昇傾向を数値解析により検討した内容を紹介しました。

今後、降雨や盛土形状のパターンを増やして解析を行い、その結果を基にして、排水対策範囲を検討する予定です。RRR

文献

- 1) 杉山友康：降雨時の鉄道斜面災害防止のための危険度評価手法に関する研究、鉄道総研報告、特別第19号、1997